

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-271053

(43)Date of publication of application : 05.10.1999

(51)Int.Cl.

G01C 3/06

G01C 11/02

G03B 37/00

(21)Application number : 10-096589

(71)Applicant : ASAHI OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 25.03.1998

(72)Inventor : UESONO SHINOBU

## (54) GROUND PHOTOGRAMMETRY CAMERA, IMAGE PROCESSING DEVICE, AND PHOTOGRAMMETRY METHOD USING THEM

### (57)Abstract:

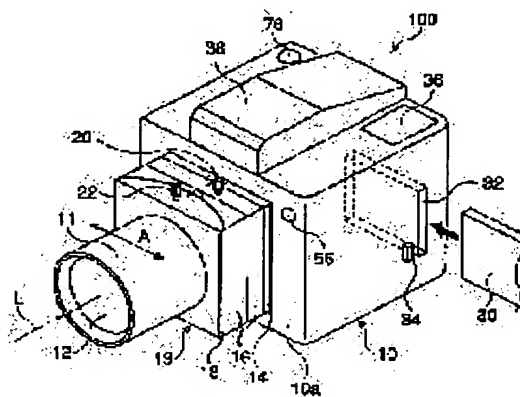
**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a precision survey drawing by reducing a coordinate value error of a subject in a distant view when measuring subjects almost scattering on a plane.

**SOLUTION:** A lens mount 13 is fitted to a front side 10a of a main body 10 of a camera 100. A lens barrel 11 is fitted to the lens mount 13 while an imaging optical system 12 is fixed in the lens barrel 11. On the upper surface of the lens mount 13, a shift operation member 20 and a tilt operation member 22 are provided.

Rotational operation of the shift operation member 20 shifts the imaging optical system 12 in allow A direction.

Rotational operation of the tilt operation member 22 rotates the imaging optical system 12, changing a tilt angle of a lens optical axis L relative to an imaging plane within the camera. The shift operation member 20 and the tilt operation member 22 are operated so that the subject in a distant view is projected on the imaging plane clear and in large size. The subject is imaged and

the tilt amount and the shift amount are recorded in a memory card 30 together with an imaging data at imaging. Based on the imaging data, tilt amount, and shift amount, 3-dimension coordinate of the subject is obtained for a survey drawing of the subject.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-271053

(43) 公開日 平成11年(1999)10月5日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 C 3/06

G 0 1 C 3/06

V

11/02

11/02

G 0 3 B 37/00

G 0 3 B 37/00

A

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願平10-96589

(22) 出願日 平成10年(1998)3月25日

(71) 出願人 000000527

旭光学工業株式会社

東京都板橋区前野町2丁目36番9号

(72) 発明者 上岡 忍

東京都板橋区前野町2丁目36番9号 旭光

学工業株式会社内

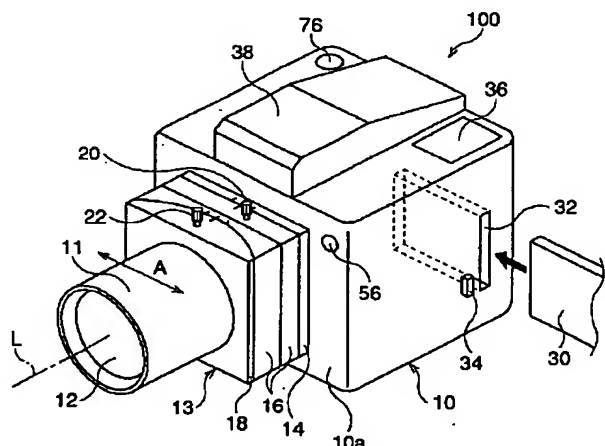
(74) 代理人 弁理士 松浦 孝

(54) 【発明の名称】 地上写真測量用カメラおよび画像処理装置およびこの地上写真測量用カメラと画像処理装置とを用いた写真測量方法

(57) 【要約】

【課題】 写真測量の精度を向上させる。

【解決手段】 カメラ100の本体10の正面10aにレンズ台13を取り付ける。レンズ台13に鏡筒11を取り付け、鏡筒11内に撮影光学系12を固定する。レンズ台13の上面にシフト操作部材20とチルト操作部材22を設ける。シフト操作部材20の回転操作により、撮影光学系12は矢印A方向にシフトする。チルト操作部材22の回転操作により、撮影光学系12は回動し、レンズ光軸Lのカメラ内の撮像面に対する傾斜角度が変化する(チルト)。遠景の被写体が大きくかつ鮮明に撮像面に写るように、シフト操作部材20とチルト操作部材22を操作する。被写体を撮影し、チルト量およびシフト量を、撮影時の撮像データと共にメモリカード30に記録する。撮像データとチルト量およびシフト量とに基づいて被写体の3次元座標を求め、被写体の測量図を得る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 撮像面を備えた撮像素子と、  
被写体像を撮像面に結像させるレンズと、  
撮像面に対して前記レンズの光軸を傾斜させるレンズ光  
軸傾斜手段と、  
前記撮像面に対して前記レンズを平行移動させること  
により、前記光軸と前記撮像面との交点の位置を、前記撮  
像面の撮像中心とは異なる位置に移動させるレンズ平行  
移動手段と、  
前記レンズ光軸傾斜手段によるレンズ光軸傾斜量と、前  
記レンズ平行移動手段によるレンズ平行移動量とをそれ  
ぞれ検出する検出手段と、  
前記撮像素子から得られた画像の撮像データと共に、前  
記検出手段から得られたレンズ光軸傾斜量とレンズ平行  
移動量とを 1 画像ファイルとして記録媒体に記録する記  
録手段とを備えることを特徴とする地上写真測量用カメ  
ラ。

【請求項 2】 前記レンズ光軸傾斜量が、所定の直交 3  
次元座標系において前記撮像面に対して垂直な直線から  
の回転角で示されることを特徴とする請求項 1 に記載の  
地上写真測量用カメラ。

【請求項 3】 前記レンズ光軸傾斜量が所定量毎に設定  
可能であることを特徴とする請求項 1 に記載の地上写真  
測量用カメラ。

【請求項 4】 前記レンズ平行移動量が、前記撮像面上  
における前記撮像中心からの移動量で表されることを特  
徴とする請求項 1 に記載の地上写真測量用カメラ。

【請求項 5】 前記レンズ平行移動量が所定量毎に設定  
可能であることを特徴とする請求項 1 に記載の地上写真  
測量用カメラ。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の地上写真測量カメラに  
より第 1 および第 2 の方向から撮影され、それぞれ記録  
媒体に記録された第 1 および第 2 の画像ファイルを前記  
記録媒体からそれぞれ読み込む読み込み手段と、  
読み込み手段により得られた第 1 および第 2 の画像ファイル  
の第 1 および第 2 の撮像データから、それぞれ第 1 およ  
び第 2 の画像として表示する表示手段と、  
第 1 および第 2 の画像における前記被写体上の物点の第  
1 および第 2 の 2 次元座標値をそれぞれ求める 2 次元座  
標値算出手段と、  
前記第 1 および第 2 の像点の 2 次元座標値と、撮影時  
における第 1 および第 2 のレンズ光軸傾斜量と第 1 およ  
び第 2 のレンズ平行移動量とに基づいて、前記物点の 3 次  
元座標値を求める 3 次元座標値算出手段とを備えること  
を特徴とする画像処理装置。

【請求項 7】 前記 3 次元座標値算出手段が、  
初期値が与えられた物点の 3 次元座標値を、光軸が撮像  
面の中心を垂直に通ることを条件に、2 次元座標値であ  
る第 1 および第 2 のスクリーン座標値に変換する変換手  
段と、

前記第 1 および第 2 のスクリーン座標値に前記シフト量  
と前記レンズの歪み量とに基づいた第 1 の補正を施し  
て、第 1 および第 2 の補正 2 次元座標値を求める第 1 の  
補正手段と、

第 1 および第 2 の補正 2 次元座標値に前記シフト量と前  
記チルト量とに基づいた第 2 の補正を施して、第 3 およ  
び第 4 の補正 2 次元座標値を求める第 2 の補正手段と、  
前記第 3 および第 4 の補正 2 次元座標値と、前記第 1 お  
よび第 2 の画像から得られた前記物点の前記第 1 および  
第 2 の 2 次元座標値との差がそれぞれ最小になるよう  
に、最小二乗法を用いて前記物点の前記 3 次元座標値の  
初期値を更新する 3 次元座標値更新手段と、  
前記 3 次元座標値更新手段により得られた 4 点以上の物  
点の第 2 の補正座標値を、同一平面上にあるという拘束  
条件により補正する第 3 の補正手段とを備えることを特  
徴とする請求項 6 に記載の画像処理装置。

【請求項 8】 請求項 1 に記載の地上写真測量カメラを  
用いて、被写体が第 1 および第 2 の方向から第 1 および  
第 2 の撮影が行われ、

請求項 6 に記載の画像処理装置を用いて、前記第 1 およ  
び第 2 の撮影により得られた第 1 および第 2 の画像にお  
ける前記被写体上の物点の第 1 および第 2 の 2 次元座標  
値と、第 1 および第 2 の撮影における第 1 および第 2 の  
レンズ光軸傾斜量と第 1 および第 2 のレンズ平行移動量  
とに基づいて、前記物点の 3 次元座標が求められること  
を特徴とする写真測量方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば写真から被  
写体の 3 次元座標を求めて測量図を得る地上写真測量用  
カメラおよび写真測量方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、交通事故等の状況を把握するため  
に、現場で写真撮影を行ってこの写真画像から平面図等  
の測量図を得る写真測量方法が一般的に行われている。  
このような写真測量方法の一例として、交通事故現場に  
おける被写体は銀塩フィルムカメラまたは電子カメラ等  
により、異なる 2 方向から撮影される。そしてこれら撮  
影画像から被写体の 2 次元座標が読み取られ、それら 2  
次元座標に基づいて被写体の 3 次元座標が算出される。  
この被写体の 3 次元座標から交通事故現場の測量図が作  
成される。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】交通事故現場は被写体  
の位置が広範囲に渡ることが多く、被写体を 1 枚の画像  
に収めるために、撮影者はカメラを道路面に対して傾斜  
させて撮影を行う。この場合、遠景の被写体は近景の被  
写体に比べ小さく撮影画像に写し込まれる。また被写体  
の奥行きが大きいために焦点のぼけた撮影画像になるこ  
とがある。このようなことから撮影画像からは被写体の

2次元座標が正確に読み取る事ができず、測量図の測量誤差が大きくなることが問題となる。

【0004】本発明は、この様な点に鑑みてなされたものであり、ほぼ平面上に点在している被写体を測量する場合、遠景の被写体の座標値誤差を小さくすることにより、精密な測量図が得られる地上写真測量用カメラおよび写真測量方法を提供することが目的である。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明による地上写真測量用カメラは、撮像面を備えた撮像素子と、被写体像を撮像面に結像させるレンズと、撮像面に対してレンズの光軸を傾斜させるレンズ光軸傾斜手段と、撮像面に対してレンズを平行移動させることにより、光軸と撮像面との交点の位置を、撮像面の撮像中心とは異なる位置に移動させるレンズ平行移動手段と、レンズ光軸傾斜手段によるレンズ光軸傾斜量と、レンズ平行移動手段によるレンズ平行移動量とをそれぞれ検出する検出手段と、撮像素子から得られた撮像データと共に、検出手段から得られたレンズ光軸傾斜量とレンズ平行移動量とを記録媒体に記録する記録手段とを備えることを特徴としている。

【0006】地上写真測量用カメラにおいて、好ましくは、レンズ光軸傾斜量が所定の直交3次元座標系において撮像面に対して垂直な直線からの回転角で示される。さらに好ましくは、レンズ光軸傾斜量が所定量毎に設定可能である。

【0007】地上写真測量用カメラにおいて、好ましくは、レンズ平行移動量が撮像面上における撮像中心からの移動量で表される。さらに好ましくは、レンズ平行移動量が所定量毎に設定可能である。

【0008】また、本発明による画像処理装置は、撮像面を備えた撮像素子と、被写体像を撮像面に結像させるレンズと、撮像面に対してレンズの光軸を傾斜させるレンズ光軸傾斜手段と、撮像面に対してレンズを平行移動させることにより、光軸と撮像面との交点の位置を、撮像面の撮像中心とは異なる位置に移動させるレンズ平行移動手段と、レンズ光軸傾斜手段によるレンズ光軸傾斜量と、レンズ平行移動手段によるレンズ平行移動量とをそれぞれ検出する検出手段と、撮像素子から得られた撮像データと共に、検出手段から得られたレンズ光軸傾斜量とレンズ平行移動量とを記録媒体に記録する記録手段とを備えることを特徴とする地上写真測量カメラにより第1および第2の方向から撮影され、それぞれ記録媒体に記録された第1および第2の画像ファイルを記録媒体からそれぞれ読み込む読み込み手段と、読み込み手段により得られた第1および第2の画像ファイルの第1および第2の撮像データから、それぞれ第1および第2の画像として表示する表示手段と、第1および第2の画像における被写体上の物点の第1および第2の2次元座標値をそれぞれ求める2次元座標値算出手段と、第1および第2の像点の2次元座標値と、撮影時における第1および第2のレ

ンズ光軸傾斜量と第1および第2のレンズ平行移動量とに基づいて、物点の3次元座標値を求める3次元座標値算出手段とを備えることを特徴とする。

【0009】画像処理装置において、好ましくは、3次元座標値算出手段が、初期値が与えられた物点の3次元座標値を、光軸が撮像面の中心を垂直に通ることを条件に、2次元座標値である第1および第2のスクリーン座標値に変換する変換手段と、第1および第2のスクリーン座標値にシフト量とレンズの歪み量とに基づいた第1の補正を施して、第1および第2の補正2次元座標値を求める第1の補正手段と、第1および第2の補正2次元座標値にシフト量とチルト量とに基づいた第2の補正を施して、第3および第4の補正2次元座標値を求める第2の補正手段と、第3および第4の補正2次元座標値と、第1および第2の画像から得られた物点の第1および第2の2次元座標値との差がそれぞれ最小になるように、最小二乗法を用いて物点の3次元座標値の初期値を更新する3次元座標値更新手段と、3次元座標値更新手段により得られた4点以上の物点の第2の補正座標値を、同一平面上にあるという拘束条件により補正する第3の補正手段とを備える。

【0010】また本発明による写真測量方法は、撮像面を備えた撮像素子と、被写体像を撮像面に結像させるレンズと、撮像面に対してレンズの光軸を傾斜させるレンズ光軸傾斜手段と、撮像面に対してレンズを平行移動させることにより、光軸と撮像面との交点の位置を、撮像面の撮像中心とは異なる位置に移動させるレンズ平行移動手段と、レンズ光軸傾斜手段によるレンズ光軸傾斜量と、レンズ平行移動手段によるレンズ平行移動量とをそれぞれ検出する検出手段と、撮像素子から得られた撮像データと共に、検出手段から得られたレンズ光軸傾斜量とレンズ平行移動量とを記録媒体に記録する記録手段とを備えることを特徴とする地上写真測量カメラを用いて、被写体が第1および第2の方向から第1および第2の撮影が行われ、それぞれ記録媒体に記録された第1および第2の画像ファイルを記録媒体からそれぞれ読み込む読み込み手段と、読み込み手段により得られた第1および第2の画像ファイルの第1および第2の撮像データから、それぞれ第1および第2の画像として表示する表示手段と、第1および第2の画像における被写体上の物点の第1および第2の2次元座標値をそれぞれ求める2次元座標値算出手段と、第1および第2の像点の2次元座標値と、撮影時における第1および第2のレンズ光軸傾斜量と第1および第2のレンズ平行移動量とに基づいて、物点の3次元座標値を求める3次元座標値算出手段とを備えることを特徴とする画像処理装置を用いて、第1および第2の撮影により得られた第1および第2の画像における被写体上の物点の第1および第2の2次元座標値と、第1および第2の撮影における第1および第2のレンズ光軸傾斜量と第1および第2のレンズ平行移動量とに基づ

いて、物点の3次元座標が求められることを特徴とする。

#### 【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明による地上写真測量用カメラと、画像処理装置、および地上写真測量方法の一実施形態について添付図面を参照して説明する。

【0012】地上写真測量用カメラ及び画像処理装置を用いて行う写真測量方法の原理について述べる。画像は3次元の被写体を平面上に投影したものであり、また被写体は点の集合であるとみなされる。地上写真測量用カメラ（以下、カメラと記載する）により同じ被写体を異なる2方向から写した一対の画像をペア画像という。各ペア画像は被写体上のある物点がそれぞれの画像平面上に投影された点、即ち像点を有する。画像処理装置においてカメラにより得られたペア画像が読込まれ、2つの像点が画像平面上の2次元座標で表される。物点の3次元座標は、対応する2つの像点の2次元座標に基づいて算出される。このように複数の物点の3次元座標がそれぞれ求められ、複数の物点の3次元座標値から被写体の3次元形状が得られる。物点は多ければ多いほど精密な被写体形状が得られる。

【0013】この手法において、カメラによる撮影時にはレンズ光軸を平行移動（シフト）して遠景の被写体を拡大して写し込み、またレンズ光軸を撮像面に対して傾斜させて（チルト）広範囲に焦点を合わせた画像を得ることにより、画像処理装置において画像上の像点を容易かつ精密に指定することが行われる。画像処理装置では2次元座標から3次元座標を算出する際に、まずレンズ光軸が撮像面に対して垂直な方向に、かつ撮像中心を通る場合の3次元座標値が求められ、この3次元座標値にシフト量及びチルト量等を考慮した補正が施される。

【0014】このように、シフトおよびチルトするカメラを用いて撮影して像点の指定を容易にし、画像処理装置においてシフト量およびチルト量に基づいた補正を行うことにより、より精密な被写体の3次元形状が得られる。

【0015】図1には実施形態である写真測量方法において用いられる地上写真測量用カメラの外観図が示される。カメラ100はCCDを本体10の内部に備えたデジタルカメラであり、撮影光学系12からの光学像は、正面10aにほぼ平行に設けられたCCDの撮像面に結像される。撮影光学系12は複数のレンズ群を備え、鏡筒11内に固定される。鏡筒11はレンズ台13によって本体10の正面10aに取り付けられ、レンズ台13によって正面10aに対して一定方向に平行移動可能、かつ正面10aに対して一定方向に傾斜角度が可変自在である。

【0016】本体10の正面10aには測光センサ56が設けられる。一方、本体10の上面中央にはファインダ38が設けられる。このファインダ38の右側方には

カメラ100の状態を示すための、例えばLCDから成る表示装置36が設けられ、またファインダ38の左側方にはメインスイッチ76が設けられる。本体10にはメモ리카ードスロット32が形成され、このメモ리카ードスロット32にメモ리카ード30が着脱可能である。メモ리카ードスロット32にメモ리카ード30が装着された状態において、CCDから得られた撮像データ等がメモ리카ード30に電氣的に記録される。メモ리카ードスロット32の側方には、メモ리카ード30を排出するための排出スイッチ34が設けられる。

【0017】レンズ台13は鏡筒11を本体10に対して相対移動させることにより、撮影光学系12のレンズ光軸Lが撮像面に交差する点を撮像中心から移動させ（シフト）、またレンズ光軸Lを撮像面に対して傾斜させる（チルト）。図1に示す撮影光学系12の位置、即ちレンズ光軸LがCCDの撮像面に対して垂直な方向に延び、かつ撮像面の中心（以下、撮像中心という）を通るときの撮影光学系12の位置を基準位置とする。なおシフト量は、撮像面においてレンズ光軸Lと撮像面との交点が撮像中心から移動した移動量（ $X_c$ ,  $Y_c$ ）で示され、チルト量は基準位置におけるレンズ光軸L、即ち撮像面に垂直な直線からのレンズ光軸Lの回転量（ $\alpha_r$ ,  $\beta_r$ ,  $\gamma_r$ ）で示される。

【0018】レンズ台13は、第1の台座14と第2の台座16と鏡筒保持部材18とを備える。第1の台座14は略正方形の平板であり、中央に鏡筒を保持するための穴（図示しない）が形成される。第1の台座14はレンズ光軸Lに対して垂直な平面に沿って時計周り方向に、かつレンズ光軸Lを中心として90°回転可能に取り付けられる。この第1の台座14の回転により、レンズ台13は本体10に対し一体的にレンズ光軸L周りに回転可能である。図1に示すレンズ台13の位置を水平位置とし、レンズ台13がこの水平位置から90°回転した時の位置を垂直位置とする。

【0019】図2はレンズ台13を垂直位置に位置決めた時のカメラ100を示す図である。レンズ台13が図1に示す水平位置にある場合、撮影光学系12は本体10に対して矢印Aで示す水平方向にシフトおよびチルトする。一方、レンズ台13が図2に示す垂直位置にある場合、撮影光学系12は矢印Bで示す垂直方向にシフトおよびチルトする。

【0020】第2の台座16は、第1の台座14に対してレンズ光軸Lと直交する一方向に平行移動が可能である。第2の台座16は第1の台座14側の面が平坦に形成され、その反対側には窪んだ曲面16aを備えている。この曲面16aの中心（図示しない）は撮影光学系12の節点と一致する。第2の台座16にはシフト操作部材20が設けられ、このシフト操作部材20を回転操作すると、図示しない駆動機構によりシフト操作部材20の回転量に応じて第2の台座16と鏡筒保持部材1

8、および鏡筒11が一体的に平行移動する。即ち、シフト操作部材20の回転動作により撮影光学系12がシフトされる。

【0021】鏡筒保持部材18は、第2の台座16の曲面16aに沿って摺動可能に取り付けられ、鏡筒11を保持する。鏡筒保持部材18はチルト操作部材22を備えており、このチルト操作部材22を回転操作すると、図示しない駆動機構により鏡筒保持部材18、および鏡筒11が一体的に曲面16aに沿って回転する。即ち、チルト操作部材22の回転動作により撮影光学系12がチルトされる。

【0022】図3は、シフトにおける撮影光学系12とCCD21との位置関係を模式的に示す上面図である。レンズ台13は水平位置にありチルトは行わないものとする。

【0023】第1の台座14には3段階の位置決め用目盛が設けられ、第2の台座16の位置決め線をこの目盛の何れかに一致させることにより所定のシフト位置に設定できる。中央の目盛0に位置決め線が一致したときは撮影光学系12が実線で示す第1のシフト位置（基準位置）にあり、レンズ光軸L<sub>1</sub>はCCD21の撮像中心Cを通る。シフト操作部材20を一定方向に回転操作すると、撮影光学系12はレンズ台13と共に図の下方向に平行移動し、下側の目盛(-α)に位置決め線を一致させると、撮影光学系12は点線で示す第2のシフト位置に位置決めされる。このときのレンズ光軸は点線L<sub>2</sub>で示され、レンズ光軸L<sub>2</sub>は撮像中心Cからαだけ図の下方向に外れている。シフト操作部材20を逆の方向に回転操作し、上側の目盛αに位置決め線を一致させると、撮影光学系12はレンズ台13と共に図の上方向に平行移動させられ、破線で示す第3のシフト位置に位置決めされる。このときレンズ光軸は破線L<sub>3</sub>で示される。レンズ光軸L<sub>3</sub>は撮像中心Cからαだけ図の上方向に外れている。

【0024】図4は、チルトにおける撮影光学系12とCCD21との位置関係を模式的に示す上面図である。レンズ台13は水平位置にあり、シフトは行わないものとする。

【0025】第2の台座16には3段階の位置決め用目盛が設けられ、鏡筒保持部材18の位置決め線をこの目盛の何れかに一致させることにより所定のチルト位置に設定できる。中央の目盛0に位置決め線が一致したときは撮影光学系12が実線で示す第1のチルト位置（基準位置）にあり、このときレンズ光軸L<sub>1</sub>はCCD21の撮像面に対して垂直である。チルト操作部材22を一定方向に回転操作すると、撮影光学系12は第1のチルト位置から面14aに沿って図の時計周りに回転させられ、下側の目盛(-β)に位置決め線を一致させると、撮影光学系12は点線で示す第2のチルト位置に位置決めされる。このときのレンズ光軸は点線L<sub>2</sub>で示され、

撮像面に垂直な方向に対して(-β)だけ傾斜している。チルト操作部材22を逆の方向に回転操作し、上側の目盛βに位置決め線を一致させると、撮影光学系12が面14aに沿って図の反時計周りに回転させられ、破線で示す第3のチルト位置に位置決めされる。このときレンズ光軸は破線L<sub>3</sub>で示され、撮像面に垂直な方向に対してβだけ傾斜している。

【0026】このように、レンズ台13によって本体10、即ちCCD21に対する撮影光学系12の位置（以下、レンズポジションという）を変えることができる。シフト位置およびチルト位置はそれぞれ3段階(α、0、-αおよびβ、0、-β)設定可能であり、その組み合わせは3×3=9通りである。さらに本体10に対してシフトおよびチルトする方向が水平方向（図1の矢印A）と垂直方向（図2の矢印B）の2通りあるため、レンズポジションの全組み合わせは9×2=18通りとなる。

【0027】なお本実施形態においては、説明を簡単にするためにシフトおよびチルトの目盛はそれぞれ3段階に設定したが、特に限定されることはなく、目盛の数を多くしてもよい。またシフト操作部材20およびチルト操作部材22の任意の回転量に応じてシフト量およびチルト量をそれぞれ算出して、表示装置36等に表示する構成にしてもよい。

【0028】図5から図7を参照して、シフトとチルトの効果について述べる。シフトとチルトを総称してあおりと言う。例えば、高層ビルなどを通常の広角カメラで撮影すると、カメラを仰角に構えることになり、撮像面における画像のビルの形状は上すばまりの台形になる（図5参照）。ここで撮像面をビルの壁面に平行に固定し、撮影光学系であるレンズを上方に平行移動即ちシフトさせると、画像はビルの本来の形状通りの長方形となる（図6参照）。即ち、レンズをシフトした方向において、遠景の被写体と近景の被写体とが同じ倍率で写し込まれる。一方、撮像面に対してレンズ光軸を傾けるチルトにより例えば撮像面の下部のピント位置を遠点側に移動させることによって、奥行きのある被写体の全体に渡ってピント合わせが可能になる（図7参照）。即ちあおりを行うことにより、遠景の被写体をより大きく、かつ広範囲の被写体がより鮮明な画像が得ることができる。

【0029】図8のブロック図を参照してカメラ100の構成および動作を説明する。システムコントロール回路50はマイクロコンピュータであり、これによりカメラ100の全体が制御される。システムコントロール回路50にはリレーズスイッチ74、メインスイッチ76がそれぞれ接続される。リレーズスイッチ74の操作に従って以下に説明する一連の撮影動作が開始され、メインスイッチ76の操作によりカメラ100に電源が投入されあるいは電源が切断される。またシステムコントロール回路50には、このカメラ100の種々の設定状態

などを表示するための表示装置 3 6 が接続される。

【0030】撮影光学系 1 2 には複数のレンズ群のほか、絞り 1 2 a が設けられる。絞り 1 2 a は 3 通りの絞り値 (F 5、F 8、F 1 6) が設定可能であり、この絞り値は撮影条件によってシステムコントロール回路 5 0 により適宜決定される。撮影光学系 1 2 の後方にはクイックリターンミラー 1 5 が、そのさらに後方に CCD 2 1 が設けられる。クイックリターンミラー 1 5 の上方には、ファインダ光学系 1 7 のピント板 1 7 a が配設される。クイックリターンミラー 1 5 はミラー駆動回路 5 2 に駆動され、ミラー駆動回路 5 2 はさらに露出制御回路 5 4 により制御される。露出制御回路 5 4 はシステムコントロール回路 5 0 から出力される指令信号に従って動作する。また露出制御時、露出制御回路 5 4 は測光センサ 5 6 からの出力信号を受ける。

【0031】クイックリターンミラー 1 5 は、通常ダウン位置 (図中実線で示す傾斜状態) に定められ、撮影光学系 1 2 を通過した光をファインダ光学系 1 7 に導いている。撮影動作時、クイックリターンミラー 1 5 は露出制御回路 5 4 の制御に従い、ミラー駆動回路 5 2 により 20 上方に回動せしめられ、アップ位置 (図中破線で示す水平状態) に定められる。これにより、撮影光学系 1 2 を通過した光が CCD 2 1 の受光部 (撮像面) に照射される。

【0032】システムコントロール回路 5 0 により、エリアセンサ駆動回路 5 8 を介して CCD 2 1 の受光部の電荷蓄積時間が制御されて露光動作が行なわれ、蓄積時間経過後、蓄積された電荷信号が撮像信号として読み出される。読み出された撮像信号は、アンプ 6 0 により増幅された後、A/D 変換器 6 2 によってデジタル信号に 30 変換され、画像処理回路 6 4 に入力される。

【0033】画像処理回路 6 4 では、1 画像分のメモリ容量を持つメモリ 6 6 と協動して表示用映像データが生成され、この表示用映像データはエンコーダ 6 8 へ出力される。エンコーダ 6 8 では、画像処理回路 6 4 から出力された表示用映像データに同期信号を付加処理するなどしてモニタ表示用映像信号が生成される。エンコーダ 6 8 から出力されたモニタ表示用映像信号はモニタ装置 7 0 に入力され、これにより操作者はモニタ装置 7 0 において撮影した静止画がモニタできる。

【0034】センサ制御回路 4 0 は独自のデータメモリ 4 1 を有し、このセンサ制御回路 4 0 には 2 つの可変抵抗器 4 2、4 4 および方向検出スイッチ 4 7 がそれぞれ接続される。2 つの可変抵抗器 4 2、4 4 および方向検出スイッチ 4 7 の動作は、システムコントロール回路 5 0 からの指令に基づいて、センサ制御回路 4 0 により制御される。

【0035】方向検出スイッチは第 2 の台座 1 6 (図 2 参照) に設けられる。操作者がカメラ 1 0 0 を水平に構え、かつレンズ台 1 3 が図 2 に示す垂直位置の時に、方

向検出スイッチは ON し、出力信号をセンサ制御回路 4 0 に出力する。これによりレンズ台 1 3 が水平位置又は鉛直位置のどちらであるのかが検出される。可変抵抗器 2 2 はシフト操作部材 2 0 (図 2 参照) に設けられ、シフト操作部材 2 0 の回転操作量に対応して抵抗値が変化し、この抵抗値はセンサ制御回路 4 0 に出力される。撮影光学系 1 2 の基準位置からのシフト量はこの抵抗値に連動して検出される。同様にチルト操作部材 2 2 にも可変抵抗器 4 4 が設けられ、撮影光学系 1 2 の基準位置からの傾斜量は可変抵抗器 4 4 の抵抗値に連動して検出される。

【0036】センサ制御回路 4 0 には、2 つの可変抵抗器 4 2、4 4 からの抵抗値および方向検出スイッチ 4 7 からの出力信号が入力される。センサ制御回路 4 0 では、これらの抵抗値および出力信号に基づいて、シフト量 ( $X_c$ ,  $Y_c$ ) とチルト量 ( $\alpha_r$ ,  $\beta_r$ ,  $\gamma_r$ ) とが算出され、これらはレンズポジションデータとしてデータメモリ 4 1 に格納される。またセンサ制御回路 4 0 とシステムコントロール回路 5 0 との間ではこのレンズポジションデータの授受が行なわれる。これらのセンサ制御回路 4 0 の動作は、カメラ 1 0 0 の電源が ON の状態では一定時間毎に行われ、シフト量 ( $X_c$ ,  $Y_c$ ) とチルト量 ( $\alpha_r$ ,  $\beta_r$ ,  $\gamma_r$ ) はその度に更新される。

【0037】画像処理回路 6 4 からの 1 画像分の撮像データは、撮影した時点におけるセンサ制御回路 4 0 からのレンズポジションデータ、および絞り値等の他のデータと共に記録制御回路 7 2 へ出力される。記録制御回路 7 2 では、これらの情報が結合されて所定の記録様式に沿った記録用データが生成され、この記録用データは画像ファイルとしてメモ리카ード 3 0 に記録される。

【0038】メモ리카ード 3 0 は本体 1 0 から着脱自在であり、図 1 4 に示す外部の画像処理装置において画像ファイルの授受が可能である。読み取られ、図面化、及びその補正などの各種演算処理が行なわれる。

【0039】図 9 はメモ리카ード 3 0 に記録される 1 画像分の記録用データのフォーマットを示す図である。リリーススイッチ 7 6 が押圧されて ON になり、CCD 2 1 に結像された画像は、所定の画像処理が施された後、図 6 に示すフォーマットの記録用データ、即ち画像ファイルに変換され、撮影毎にメモ리카ード 3 0 に記録される。画像ファイルには、撮像データ、撮影時におけるレンズポジションデータ、絞り値などのデータが格納される。またヘッダー部には画像名が記録可能である。

【0040】図 1 0 はカメラ 1 0 0 におけるシステムコントロール回路 5 0 のペア画像撮影処理を示すフローチャートである。このカメラ 1 0 0 によるペア画像撮影は、同じ被写体を異なる 2 方向から撮影することと、この 2 枚の画像 (以下、ペア画像  $G_1$ 、 $G_2$  という) においてレンズポジションが同じであることを前提とする。また、このペア画像撮影処理の前にカメラ 1 0 0 のレン



ズポジションは操作者により設定済みとする。

【0041】レリーズスイッチ76が半押しされると動作が開始され、ステップS102、ステップS104、ステップS106が連続して実行される。ステップS102では測光センサ56がONになり、測光センサ56からの出力信号に基づいて露出制御回路54において測光演算が行われる。ステップS104では適正な露光時間および絞り値が測光演算により決定される。ステップS106ではレリーズスイッチ76がONであるか否かが判定され、ONでなければステップS102から再実行される。即ちレリーズスイッチ76が押下されてONになるまでは、ステップS102、ステップS104、ステップS106が繰り返し実行され、露光時間および絞り値は逐次更新される。

【0042】レリーズスイッチ76がONになると、ステップS108において露出制御が行われる。即ち、レリーズスイッチ74がONになる直前の絞り値に基づいて絞り12aが制御され、ミラー駆動回路52を介してクイックリターンミラー15のミラーアップが制御される。また、レリーズスイッチ74がONになる直前の露光時間に基づいて、エリアセンサ駆動回路58によりCCD21の電化蓄積時間が制御される。電化蓄積時間経過後CCD21から電荷信号が読み出され、上述した所定の処理を施されて撮像データに変換される。この撮像データは記録制御回路72に出力されると共に、モニター70に表示される。

【0043】ステップS108の後にステップS110が実行され、センサ制御回路40において算出されたレンズポジションデータ（シフト量、チルト量）がシステムコントロール回路50に入力される。ステップS110が終了すると、ステップS112が実行され、記録制御回路72においてカメラ100に装着されたメモリカード30に撮像データとレンズポジションデータ等が記録される。

【0044】ステップS114において、ステップS108におけるレンズポジションデータの値が、前回の撮影での記録時におけるレンズポジションデータの値と同じか否かが判定される。初めてメモリカード記録を行った場合には、前回の記録時におけるレンズポジションデータは記録されていないので、ステップS116が実行され、ペア画像が1枚、即ちペア画像G<sub>1</sub>しか記録されていないことを表示装置36に警告表示し、ステップS102から再実行される。ステップS102からステップS114までが再実行されると、ステップS120が実行され、ペア画像G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>がメモリカード30に記録されたことが認識される。

【0045】ステップS122において今回のペア画像G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>の記録時に用いられたレンズポジションデータがセンサ制御回路41を介してメモリ41に格納され、ペア画像撮影処理は終了する。なお、次のペア画像

撮影、即ちレンズポジションを変えて、次のペア画像G<sub>3</sub>、G<sub>4</sub>を記録する場合には、ステップS114において今回のレンズポジションデータと次のレンズポジションデータとが比較され、またステップS122において、メモリ41に記録されるレンズポジションデータは次のレンズポジションデータに更新される。なお、このフローチャートにおいては、ペア画像を2枚としているが、ペア画像の枚数は操作者が適宜設定できるものとする。例えばペア画像を5枚とすると、ステップS102～ステップS106は5回繰り返される。

【0046】図11～図14を参照して写真測量におけるあおり撮影の効果を述べる。図11はあおりのない通常の撮影における被写体と撮影光学系であるレンズ及び撮像面との位置関係を示す図であり、図12は図11の撮影位置により得られた画像である。図13はあおり撮影における被写体とレンズ及び撮像面との位置関係を示す図であり、図14は図13の撮影位置により得られた画像である。

【0047】図13に示すレンズは、撮像面に対し図の上方にシフトされ、かつ図の反時計回り方向にチルトされている。図12と図14を比較してよく分かるように、図14ではシフトにより特に遠方の画像が拡大されて写し込まれている。また図12、図14には示されないが、図14の画像ではチルトにより広範囲が焦点となり明確に写し込まれている。即ち図13に示すあおり撮影を行うことにより、あおりのない図12の画像に比べ図14の画像において像点の指定が容易に行える。

【0048】従って、後述する画像処理装置において、図10のペア画像撮影処理により得られたペア画像において共通する物点の像点を対応付けて指定する際に、像点の精密な2次元座標値が得られる。従って、これらの2次元座標値に基づいて算出される物点の3次元座標値が、より正確に求められる。このようにあおり撮影を行うことにより、特に遠景の被写体における物点に対応した画像上の像点を正確に指定でき、測量誤差のより少ない写真測量が行える。

【0049】図15は実施形態である写真測量方法において用いられる画像処理装置の構成を示すブロック図である。画像処理装置200は図10に示すペア画像撮影処理によって得られたペア画像G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>から、被写体の3次元座標を求める装置である。画像処理装置200は、演算装置（コンピュータ）150と、モニター160と、マウス170とを備える。演算装置150はシステムコントローラ152と演算処理用メモリ154と、モニター表示用メモリ156と、ビデオプロセス回路158とを備える。ビデオプロセス回路158の動作はシステムコントローラ152により制御される。メモリカード30は演算装置150に対して着脱自在である。

【0050】メモリカード30が演算装置150に装着された状態において、図1に示すカメラ100によって

10

20

30

40

50



メモリカード30に記録されたデータ、例えば画像ファイルは、必要に応じてシステムコントローラ152によって読み出され、またデータがメモリカード30に書き込まれる。

【0051】システムコントローラ152は被写体の3次元座標値を求めるための演算処理を行うが、この時システムコントローラ152は演算処理用メモリ154と協働して演算処理を行う。また、システムコントローラ152はメモリカード30からペア画像 $G_1$ 、 $G_2$ に対応する2つの画像ファイルを読み出し、読み出された各画像ファイルの撮像データに基づいて、モニタ160に表示するための表示用画像データをそれぞれ生成し、この各表示用画像データをモニタ表示用メモリ156にそれぞれ格納する。ビデオプロセス回路158はシステムコントローラ152の指令信号に基づいて、モニタ表示用メモリ156に格納された2画像分の表示用画像データからモニタ用映像信号を生成し、このモニタ用映像信号をモニタ160に送出する。モニタ160の画面上にはペア画像 $G_1$ 、 $G_2$ に対応したウィンドウがそれぞれ設定される。モニタ用映像信号に基づいて左右にペア画像 $G_1$ 、 $G_2$ がそれぞれ対応したウィンドウ上に同時に映し出される。

【0052】マウス170は公知の機器であり、構成については詳述しない。マウスは手動により操作され、マウス170の移動量に応じた信号、あるいはマウス170の操作ボタンスイッチ170aの操作信号はシステムコントローラ152に送出される。モニタ160の画面上にはポインタが表示され、マウス170の移動量に応じてポインタが画面上で移動させられる。

【0053】モニタ160の画面上には2次元の絶対座標系（モニタ座標系とする）が設定され、ポインタがこのモニタ座標系における2次元座標値に従って画面上に表示されると共に、画面の所定領域にはポインタの現在位置が2次元座標値として表示される。システムコントローラ152は、マウス170が移動して、その移動量に応じた信号が入力されると、この移動量に応じた信号に基づいてモニタ座標系におけるポインタの2次元座標値を演算し、更新する。モニタ160の画面上において、更新された2次元座標値に対応してポインタが再表示されるとともに、画面の所定領域の2次元座標値も再表示される。このようにマウス170の手動操作によって、モニタ160の画面上においてポインタを所望の位置に移動させる。

【0054】モニタ160の画面上にペア画像 $G_1$ 、 $G_2$ がそれぞれ対応したウィンドウ上に映し出された状態において、所望の位置にポインタを位置させて、操作ボタンスイッチ170aが操作される、例えば2回クリックが実行されると、システムコントローラ152は操作時のポインタの位置を像点 $P_{ij}$ （ $i$ は物点を表すパラメータ； $j$ は画像を表すパラメータ）が指定されたものと

して認識する。システムコントローラ152はモニタ座標系で表された像点 $P_{ij}$ の2次元座標値に基づいて、各画像上にそれぞれ設定された2次元座標系（以下、画像座標系 $j$ とする）における2次元座標（ $X_{ij}$ 、 $Y_{ij}$ ）を算出し、この2次元座標（ $X_{ij}$ 、 $Y_{ij}$ ）を演算処理用メモリ154の所定領域に格納する。

【0055】なお、演算処理用メモリ154の所定領域にはペア画像 $G_1$ 、 $G_2$ において対応する像点 $P_{ij}$ の座標値のデータが複数組格納される。例えばペア画像 $G_1$ において像点 $P_{i1}$ が指定されると、次に画像 $G_2$ において像点 $P_{i2}$ に対応した像点 $P_{i2}$ が指定すべき旨のメッセージをモニタ160に表示し、画像 $G_2$ において像点 $P_{i2}$ が指定されると、システムコントローラ152は連続して指定された像点 $P_{i1}$ と像点 $P_{i2}$ とを1組として、像点 $P_{i1}$ 、 $P_{i2}$ の座標値を演算処理用メモリ154に格納する。システムコントローラ152により、演算処理用メモリ154に格納された $i$ 組の像点 $P_{ij}$ の2次元座標値（ $X_{ij}$ 、 $Y_{ij}$ ）に基づいて、対応する $i$ 個の物点 $p_i$ の3次元座標等が求められる。

【0056】ペア画像が2枚の場合について説明したが、ペア画像がそれ以上、例えば5枚あれば、モニタ160上には5つの画像に対応するウィンドウが同時表示され、各画像における像点 $P_{ij}$ の座標値のデータ5つが1組とされる。

【0057】次に画像処理装置200における3次元座標の算出方法について説明する。図16は撮影時のカメラ100と被写体である平面 $PS$ 上の4点 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$ との位置関係を3次的に示す模式図である。北を $Z$ 方向、鉛直方向を $Y$ 方向とする右手系の3次元直交座標系が絶対座標系（ $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ ）として設定される。基準となるカメラの位置、例えば電源投入時における撮影光学系12の後側主点位置 $M_0$ を基準位置とする。なおこの基準位置 $M_0$ は絶対座標系（ $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ ）の原点と同一である必要はない。

【0058】2回の撮影におけるカメラ100の状態、即ちカメラ100の絶対座標系における位置や方向（以下、カメラ位置と記載する）をパラメータで示すために、カメラ100の絶対座標系における位置は撮影光学系12の後側主点位置で表され、カメラ100の絶対座標系における方向は撮影光学系12のレンズ光軸の方向で表される。図中第1のカメラ位置、即ち後側主点位置が $M_1$ に位置するときのカメラ100は実線で示され、第2のカメラ位置、即ち後側主点位置が $M_2$ に位置するときのカメラ100が破線で示される。第1および第2のカメラ位置 $M_1$ 、 $M_2$ におけるレンズ光軸はそれぞれ一点鎖線 $L_1$ 、 $L_2$ で示される。なお、基準位置 $M_0$ に位置するときのカメラ100およびレンズ光軸は図示しない。

【0059】図17は第1および第2のカメラ位置 $M_1$ 、 $M_2$ における撮影により得られた2枚の画像

$S_1$ 、 $S_2$ と被写体(物点 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$ )との関係を幾何学的に示す模式図である。絶対座標系における物点 $p_1$ の位置は3次元座標( $x_1$ 、 $y_1$ 、 $z_1$ )で示される。 $x_1$ 、 $y_1$ 、および $z_1$ はパラメータである。同様に、物点 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$ の3次元座標はそれぞれ( $x_2$ 、 $y_2$ 、 $z_2$ )、( $x_3$ 、 $y_3$ 、 $z_3$ )、( $x_4$ 、 $y_4$ 、 $z_4$ )で示される。

【0060】なおこの画像 $S_1$ 、 $S_2$ を撮影するために用いられたカメラは、画面距離、即ち焦点距離 $f$ と後側主点位置が正確に構成され、かつレンズ歪みであるレンズディストーションがなく、撮像面がレンズ光軸に対して垂直な平面内に保たれているカメラである。カメラ100により実際に撮影されたペア画像 $G_1$ 、 $G_2$ と画像 $S_1$ 、 $S_2$ とは異なるものである。ペア画像 $G_1$ 、 $G_2$ と区別するために、以下、画像 $S_1$ 、 $S_2$ をスクリーン $S_1$ 、 $S_2$ と記載する。

【0061】カメラにはレンズ光軸方向を $z$ 軸とする右手系の3次元直交座標系が設定される。例えば、基準位置 $M_0$ にカメラの後側主点位置がある場合、原点を $M_0$ とし、レンズ光軸に沿った方向を $z$ 。軸とする右手系の3次元直交座標系、即ち基準座標系( $x_0$ 、 $y_0$ 、 $z_0$ )を設定する。カメラの移動に伴って後側主点位置は基準位置 $M_0$ から移動し、またレンズ光軸方向の傾きも変化する。従って第1および第2のカメラ位置 $M_1$ 、 $M_2$ における座標軸は、絶対座標空間の中では座標軸 $x_0$ 、 $y_0$ 、 $z_0$ とは異なる位置および方向となる。従って、第1および第2のカメラ位置 $M_1$ 、 $M_2$ における3次元直交座標系を基準座標系とは異なる位置および方向であることを表すために、新たにカメラ位置 $M_1$ を原点とし光軸 $L_1$ を $z'$ 軸とする座標系1( $x'$ 、 $y'$ 、 $z'$ )を設定し、同様に、カメラ位置 $M_2$ を原点とし光軸 $L_2$ を $z''$ 軸とする座標系2( $x''$ 、 $y''$ 、 $z''$ )を設定する。

【0062】スクリーン $S_1$ 、 $S_2$ は座標系1の $x'$ — $y'$ 平面、または座標系2の $x''$ — $y''$ 平面にそれぞれ平行かつ焦点距離 $f$ だけ離れた平面である。スクリーン $S_1$ 、 $S_2$ 上の撮像中心 $C_1$ 、 $C_2$ は、 $z'$ 軸あるいは $z''$ 軸の延長上にある。スクリーン $S_1$ には撮像中心 $C$

を原点とする2次元座標系(以下、スクリーン座標系と記載する)( $X'$ 、 $Y'$ )が設定される。スクリーン座標系の $X'$ 軸および $Y'$ 軸は $x'$ 軸および $y'$ 軸に平行である。同様に、スクリーン $S_2$ には撮像中心 $C_2$ を原点、 $x''$ 軸および $y''$ 軸にそれぞれ平行な $X''$ 軸および $Y''$ 軸を有するスクリーン座標系( $X''$ 、 $Y''$ )が設定される。

【0063】座標系1、2の基準座標系からの移動は、平行移動と回転移動により表される。平行移動は原点移動量、即ち基準位置 $M_0$ からそれぞれの後側主点位置 $M_1$ 、 $M_2$ の3次元移動量( $\Delta x_1$ 、 $\Delta y_1$ 、 $\Delta z_1$ )および( $\Delta x_2$ 、 $\Delta y_2$ 、 $\Delta z_2$ )で表される。また回転移動はレンズ光軸 $L_1$ 、 $L_2$ の $x_0$ 軸、 $y_0$ 軸、 $z_0$ 軸からのそれぞれの回転角度変位量( $\Delta \alpha_1$ 、 $\Delta \beta_1$ 、 $\Delta \gamma_1$ )および( $\Delta \alpha_2$ 、 $\Delta \beta_2$ 、 $\Delta \gamma_2$ )で示される。 $\Delta x_j$ 、 $\Delta y_j$ 、 $\Delta z_j$ および $\Delta \alpha_j$ 、 $\Delta \beta_j$ 、 $\Delta \gamma_j$ はパラメータである。

【0064】スクリーン $S_j$ ( $j=1\sim 2$ )上には被写体上の物点 $p_i$ ( $i=1\sim 4$ )に対応する像点 $P_{ij}$ が写されているが、この像点 $P_{ij}$ は、後側主点位置であるカメラ位置 $M_j$ と物点 $p_i$ を結んだ直線上に位置する。

【0065】このように、基準座標系と座標系 $j$ との幾何学的関係、あるいは物点 $p_i$ と像点 $P_{ij}$ との幾何学的関係を利用して、物点 $p_i$ の3次元座標( $x_i$ 、 $y_i$ 、 $z_i$ )に基づいて、スクリーン $S_j$ における物点 $p_i$ の像点 $P_{ij}$ の2次元座標( $X_{ij}$ 、 $Y_{ij}$ )が算出される。まず下に示す(1)式を用いて、絶対座標系における像点 $P_{ij}$ の3次元座標( $x_{ij}$ 、 $y_{ij}$ 、 $z_{ij}$ )を求め、さらに像点 $P_{ij}$ の3次元座標( $x_{ij}$ 、 $y_{ij}$ 、 $z_{ij}$ )を(2)式によりスクリーン座標( $X_{ij}$ 、 $Y_{ij}$ )に変換する。これらの式は撮像中心であるカメラ位置 $M_j$ と像点 $P_{ij}$ と物点 $p_i$ とが一直線上にあることを前提とする共線条件式である。なお、(1)式および(2)式における $i$ は物点数を示すパラメータであり、 $j$ は画像枚数を示すパラメータである。

【0066】

【数1】

$$\begin{pmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i - \Delta x_j \\ y_i - \Delta y_j \\ z_i - \Delta z_j \end{pmatrix} \quad \dots (1)$$

ただし、

$$T_{11} = \cos \Delta \beta_j \cdot \cos \Delta \gamma_j$$

$$T_{12} = \cos \Delta \alpha_j \cdot \sin \Delta \gamma_j + \sin \Delta \alpha_j \cdot \sin \Delta \beta_j \cdot \cos \Delta \gamma_j$$

$$T_{13} = \sin \Delta \alpha_j \cdot \sin \Delta \gamma_j - \cos \Delta \alpha_j \cdot \sin \Delta \beta_j \cdot \cos \Delta \gamma_j$$

$$T_{21} = -\cos \Delta \beta_j \cdot \sin \Delta \gamma_j$$

$$T_{22} = \cos \Delta \alpha_j \cdot \cos \Delta \gamma_j - \sin \Delta \alpha_j \cdot \sin \Delta \beta_j \cdot \sin \Delta \gamma_j$$

$$T_{23} = \sin \Delta \alpha_j \cdot \cos \Delta \gamma_j + \cos \Delta \alpha_j \cdot \sin \Delta \beta_j \cdot \sin \Delta \gamma_j$$

$$T_{31} = \sin \Delta \beta_j$$

$$T_{32} = -\sin \Delta \alpha_j \cdot \cos \Delta \beta_j$$

$$T_{33} = \cos \Delta \alpha_j \cdot \cos \Delta \beta_j$$

$(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$  : 座標系  $j$  における物点  $i$  の 3 次元座標

$(\Delta x_j, \Delta y_j, \Delta z_j)$  : 座標系  $j$  の原点に対する移動量

$(\Delta \alpha_j, \Delta \beta_j, \Delta \gamma_j)$  : 座標系  $j$  の 3 軸周りの回転角

【0067】

$$\begin{pmatrix} X_{ij} \\ Y_{ij} \end{pmatrix} = f \begin{pmatrix} x_{ij} / z_{ij} \\ y_{ij} / z_{ij} \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

$(X_{ij}, Y_{ij})$  : スクリーン  $S_j$  における物点  $i$  の 2 次元座標

$(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$  : 座標系  $j$  における物点  $i$  の 3 次元座標

$f$  : 焦点距離

【0068】 (2) 式によって算出された、スクリーン  $S_j$  における像点  $P_{ij}$  の座標値  $(X_{ij}, Y_{ij})$  は、画像上の実測した 2 次元座標値と一致することが望ましい。しかし実際のレンズ、特に球面レンズを使用している場合被写体像は被写体の相似形とはならず、例えば本来直線になるべきものが曲がった像として投影される。写真

測量では、特に横倍率が像の大きさによって異なる歪曲収差 (ディストーション) が測量誤差となる。

【0069】 また、(1) 式及び (2) 式では撮影光学系 12 のレンズ光軸  $L_j$  はスクリーン  $S_j$  に対して垂直に交差していることを前提としているが、本実施形態ではレンズ光軸  $L_j$  がスクリーン  $S_j$  に対して傾斜量が可

変であるため、このレンズ光軸 $L_j$ の傾斜量であるチルト量 $(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i)$ を加味する必要がある。

【0070】さらに、(1)式及び(2)式では撮影光学系12のレンズ光軸 $L_j$ はスクリーン $S_j$ の撮像中心 $C_j$ を通ることを前提としているが、本実施形態ではレンズ光軸 $L_j$ がスクリーン $S_j$ と交差する交点が、撮像中心 $C_j$ から移動可能であるため、この交点の撮像中心 $C_j$ に対する移動量であるシフト量 $(X_c, Y_c)$ を考慮しなければならない。

【0071】以上のことから、本実施形態では(2)式により求められた2次元座標値に補正を施している。

【0072】図18を参照して、前述の座標変換の流れを説明する。図18に示す座標変換は、物点の3次元座標から画像上の2次元座標を求めるための変換である。基準座標系 $(x_o, y_o, z_o)$ における物点 $p_i$ の3次元座標を $(x_i, y_i, z_i)$ とする(S10)。まず画像座標系 $j$ における物点 $p_i$ の座標 $(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$ が、(1)式により求められる。このとき画像座標系 $j$ の原点 $M_j$ の位置は、基準座標系の基準位置 $M_o$ から

$$\left. \begin{aligned} X'_{ij} &= X_{ij}(1 + D_2 R_{ij}^2 + D_4 R_{ij}^4 + D_6 R_{ij}^6) + \\ &\quad (R_{ij}^2 + 2X_{ij}^2)P_1 + 2X_{ij}Y_{ij}P_2 + X_c \\ Y'_{ij} &= Y_{ij}(1 + D_2 R_{ij}^2 + D_4 R_{ij}^4 + D_6 R_{ij}^6) + \\ &\quad 2X_{ij}Y_{ij}P_1 + (R_{ij}^2 + 2Y_{ij}^2)P_2 + Y_c \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

ただし、 $R_{ij}^2 = X_{ij}^2 + Y_{ij}^2$

$(X_{ij}, Y_{ij})$  : スクリーン座標

$(X'_{ij}, Y'_{ij})$  : 第1の補正座標

$(X_c, Y_c)$  : シフト量

$D_2, D_4, D_6, P_1, P_2$  : ディストーション係数

【0076】第1の補正座標 $(X'_{ij}, Y'_{ij})$ はさらにチルト量を加味した補正が施され、(4)式により第2の補正座標 $(X''_{ij}, Y''_{ij})$ に変換される(S18)。(5)式は(4)式に用いられる2つの単位ベクトル $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$ を示

\* から $(\Delta x_j, \Delta y_j, \Delta z_j)$ だけ移動し、またその画像座標系1 $(x', y', z')$ 及び画像座標系2 $(x'', y'', z'')$ は、基準座標系 $(x_o, y_o, z_o)$ の3軸周りに関してそれぞれ $(\Delta \alpha_j, \Delta \beta_j, \Delta \gamma_j)$ だけ回転している(S12)。

【0073】次に画像座標系 $j$ における物点 $p_i$ の座標 $(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$ をスクリーン $S_j$ に投影したときの2次元座標 $(X_{ij}, Y_{ij})$ は前述の(2)式により求められる(S14)。

【0074】(2)式により求められたスクリーン座標 $(X_{ij}, Y_{ij})$ は、シフト量 $(X_c, Y_c)$ と歪曲収差を示すパラメータであるディストーション係数 $D_2, D_4, D_6, P_1, P_2$ とを加味した補正が施され、

(3)式により第1の補正座標 $(X'_{ij}, Y'_{ij})$ に変換される(S16)。(3)式はディストーションによる座標値の誤差を補正するためのKararaの補正モデルである。

【0075】

【数3】

す式であり、チルト量 $(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i)$ で表される単位量である。

【0077】

【数4】

$$\begin{aligned}
 X''_{ij} &= \left\{ \begin{aligned} &f(x_2 Y'_{ij} - X'_{ij} y_2) - z_2(X_C Y'_{ij} - Y_C X'_{ij}) \\ &/\{f(x_2 y_1 - x_1 y_2) + (Y_C - Y'_{ij})(x_1 z_2 - x_2 z_1) + \\ &\quad (X_C - X'_{ij})(y_2 z_1 - y_1 z_2)\} \end{aligned} \right\} \\
 Y''_{ij} &= \left\{ \begin{aligned} &f(x_1 Y'_{ij} - X'_{ij} y_1) - z_1(X_C Y'_{ij} - Y_C X'_{ij}) \\ &/\{f(x_1 y_2 - x_2 y_1) + (Y_C - Y'_{ij})(x_2 z_1 - x_1 z_2) + \\ &\quad (X_C - X'_{ij})(y_1 z_2 - y_2 z_1)\} \end{aligned} \right\}
 \end{aligned} \quad (4)$$

$(X'_{ij}, Y'_{ij})$  : スクリーン座標  
 $(X''_{ij}, Y''_{ij})$  : 第1の補正座標  
 $(X_C, Y_C)$  : シフト量  
 $(x_1, y_1, z_1)$  : 第1の単位ベクトル  
 $(x_2, y_2, z_2)$  : 第2の単位ベクトル  
 $f$  : 焦点距離

【数5】

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta_T \cos \gamma_T \\ \cos \beta_T \sin \gamma_T \\ -\sin \beta_T \end{pmatrix} \quad \cdots (5)$$

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma_T \sin \alpha_T \sin \beta_T - \cos \alpha_T \sin \gamma_T \\ \cos \alpha_T \cos \gamma_T + \sin \alpha_T \sin \beta_T \sin \gamma_T \\ \cos \beta_T \sin \alpha_T \end{pmatrix} \quad \cdots (6)$$

$(x_1, y_1, z_1)$  : 第1の単位ベクトル  
 $(x_2, y_2, z_2)$  : 第2の単位ベクトル  
 $(\alpha_T, \beta_T, \gamma_T)$  : チルト量

【0078】このように、物点 $p_i$ の3次元座標 $(x_i, y_i, z_i)$ 、カメラ位置 $(\Delta x_j, \Delta y_j, \Delta z_j)$ 、カメラ姿勢 $(\Delta \alpha_j, \Delta \beta_j, \Delta \gamma_j)$ 、焦点距離 $f$ 、シフト量 $(X_c, Y_c)$ 、チルト量 $(\alpha_T, \beta_T, \gamma_T)$ 、およびディストーション係数 $D_2, D_4, D_6, P_1, P_2$ からなるパラメータにより、撮像面上における像点の2次元座標である第2の補正座標 $(X''_{ij}, Y''_{ij})$ を表すことができる。

【0079】座標変換に用いられる(2)式は非線形連立方程式であるため、第2の補正座標 $(X''_{ij}, Y''_{ij})$ の未知のパラメータ、例えば物点の3次元座標 $(x_i, y_i, z_i)$ を求める手法として、例えば逐次近似解法が用いられる。即ち、まず未知のパラメータに近似値が与えられ、非線形連立方程式がこの近似値の周りにテーラー展開して線形化され、最小二乗法により補\*

CCDピッチ間隔をパラメータに加えない場合  
(銀塩カメラの場合)

$$\Phi_P = \sum_i \sum_j \{(X''_{ij} - NX_{ij})^2 + (Y''_{ij} - NY_{ij})^2\}$$

CCDピッチ間隔をパラメータに加える場合  
(デジタルカメラの場合)

$$\Phi_P = \sum_i \sum_j \{(X''_{ij}/P_x - MX_{ij})^2 + (Y''_{ij}/P_y - MY_{ij})^2\}$$

(7)

ただし、

$(X''_{ij}, Y''_{ij})$  : 第2の補正座標

$(NX_{ij}, NY_{ij})$  : 写真上の像点座標 (実測像点座標)

$(MX_{ij}, MY_{ij})$  : 画像上の像点座標 (実測像点座標)

$(P_x, P_y)$  : CCDのピッチ間隔

【0082】なお、未知のパラメータが物点 $p_i$ の3次元座標 $(x_i, y_i, z_i)$ 、カメラ位置 $(\Delta x_j, \Delta y_j, \Delta z_j)$ 、カメラ姿勢 $(\Delta \alpha_j, \Delta \beta_j, \Delta \gamma_j)$ とすると、最低必要な拘束条件は例えば物点数5点、画像数3枚であるが、これよりさらに物点数 $i$ あるいは画像枚数 $j$ を増加させることにより既知のパラメータを増加させると、最適化の精度の向上を図ることができる。

【0083】画像処理装置200の演算装置150で

\* 正量が求められる。この補正量により初期値である近似値が修正され、修正された近似値が再び未知のパラメータに与えられる。この操作を数回繰り返して未知のパラメータの収束解が得られる。

【0080】収束条件は、以下の(7)式に示すメリット関数 $\Phi_P$ 、即ち第2の補正座標 $(X''_{ij}, Y''_{ij})$ と実際の画像 $G_j$ 上で測定された2次元座標 $(MX_{ij}, MY_{ij})$ との誤差が最小になることである。なお、(7)式にはフィルムを用いた銀塩写真カメラにおけるメリット関数 $\Phi_P$ を合わせて示している。(7)式において $MX_{ij}$ と $MY_{ij}$ または $NX_{ij}$ と $NY_{ij}$ の値は、メモリカード30から読み込まれた焦点距離および絞り値のデータに基づいて決定される。

【0081】

【数6】

は、以上のような算出方法に基づいて物点 $p_i$ の3次元座標 $(x_i, y_i, z_i)$ 等が求められる。

【0084】次に画像処理装置200(図15参照)の動作について述べる。図19は画像処理装置200における動作を示すフローチャートである。ステップS200において、まずカメラパラメータ処理が実際の測量対象を測量する前に行われる。このカメラパラメータ処理では、写真測量に用いられるカメラ100においてレンズポジションデータと絞り値との全組み合わせに対応し

たディストーション係数が求められる。この全組み合わせのレンズポジションデータ（シフト量、チルト量）と絞り値、およびこれらに対応したディストーション係数、さらに焦点距離とをカメラ 100 固有の値、即ちカメラパラメータとする。

【0085】次にステップ S 300 の画像読み込み処理において、カメラ 100 により得られた画像またはステップ S 200 により得られたカメラパラメータが、画像処理装置 200 の演算装置 150 に読み込まれる。そしてステップ S 400 の物点座標演算処理において、演算装置 150 により読み込まれたデータに基づいて被写体上の物点の 3 次元座標が求められ、この 3 次元座標に基づいて測量図が描かれる。

【0086】図 20 はカメラパラメータ測定処理（ステップ S 200）を詳細に示すフローチャートである。図 21 はカメラパラメータ測定処理におけるカメラ 100 と基準被写体 102 との位置関係を示す図である。ステップ S 202 において、レンズポジションデータ、即ちシフト量およびチルト量と絞り値との全組合せが決定される。カメラ 100 の説明において記載したように、シフト位置およびチルト位置はそれぞれ 3 通り設定可能であり、その組合せ数は  $3 \times 3 = 9$  である。さらにレンズ台 13 の位置が 2 通りあるので、シフト量とチルト量の組み合わせ数は  $9 \times 2 = 18$  となる。またさらに絞り値が 3 通り設定できるので  $18 \times 3 = 54$  となる。以下のステップ S 204 ～ステップ S 214 に示すカメラパラメータ演算は、この 54 通りの全組合せについて順に繰り返し実行される。

【0087】ステップ S 204 において、図 21 に示すパラメータ算出用撮影により得られた基準被写体 102 に関するペア画像の撮像データが、メモ리카ード 30 を介して演算装置 150 に読み込まれる。またペア画像の撮像データとともに、設定されたレンズポジション、および絞り値のデータが演算装置 150 に読み込まれる。

【0088】図 21 に示すパラメータ算出用撮影について説明する。まず形状が既知、即ち物点の相対位置関係が精密に設けられた基準被写体 102 が用意される。基準被写体 102 は市松模様の平板チャートであり、各格子の辺長は一定の長さを有する。物点  $q_1 \sim q_4$  は各格子の交点为好ましい。次にカメラ 100 によりこの基準被写体 102 が異なるアングル（カメラ位置  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ ）からそれぞれ撮影される。各撮影において、メモ리카ード 30 に撮像データ、レンズポジションデータ、絞り値が合わせて記録される。カメラ 100 内の動作は前述したステップ S 102 ～ S 122 と同じであり、説明を省略する。なおこの一連の撮影においてシフト量とチルト量、および絞り値は一定である。

【0089】ステップ S 206 において、オペレータによってモニタ 160 により視認しながらそれぞれの画像上に写る共通する物点  $q_k$ （ $k = 1 \sim 4$ ）の像点  $Q$

$_{kh}$ （ $h = 1 \sim 3$ ）がそれぞれ対応付けられて、2 次元座標値として入力される。ステップ S 208 において物点  $q_k$  の 3 次元座標値と、その物点  $q_k$  に対応付けされたペア画像における像点  $Q_{kh}$  の 2 次元座標値とが、演算処理用メモリ 154 に一時記憶される。

【0090】ステップ S 210 において、シフト量、チルト量、物点  $q_k$  の 3 次元座標値、および像点  $Q_{kh}$  の 2 次元座標値を既知のパラメータとして未知のパラメータが求められる。このとき求められる未知のパラメータは、カメラ位置  $M_h$ （ $\Delta x_h$ 、 $\Delta y_h$ 、 $\Delta z_h$ ）、カメラ姿勢（ $\Delta \alpha_h$ 、 $\Delta \beta_h$ 、 $\Delta \gamma_h$ ）、およびディストーション係数  $D_2$ 、 $D_4$ 、 $D_6$ 、 $P_1$ 、 $P_2$  である。ステップ S 212 において、メモ리카ード 30 から得られたレンズポジションデータ（シフト量、チルト量）およびステップ S 212 により求められたディストーション係数とが演算処理用メモリ 154 に記録される。

【0091】ステップ S 214 において、レンズポジションデータの全組合せについて演算が行われたか否かが判定される。全組合せの演算が終了していなければステップ S 216 においてまだ演算が行われていない組合せに更新された後、ステップ S 204 から更新された組合せについてカメラパラメータ演算が再実行される。全組み合わせの演算が終了すればカメラパラメータ測定処理は終了する。

【0092】このように、カメラ 100 について予めカメラパラメータが求められる。その後カメラパラメータ測定処理が済んだカメラ 100 を用いて、測量対象となる被写体の撮影が行われ、メモ리카ード 30 に撮像データ等が記録される。カメラ 100 の動作は前述のステップ S 102 ～ステップ S 122 に示されており、ここでは説明を省略する。カメラ 100 についてカメラパラメータが既知であるため、実際の写真測量において物点の 3 次元座標を算出する際に、未知のパラメータ数が減り、精密な座標値が求められ、かつ演算処理時間を短縮できる。

【0093】図 22 は画像読込処理（ステップ S 300）を詳細に示すフローチャートである。ステップ S 302 において、カメラ 100 により得られたペア画像の画像ファイルがメモ리카ード 30 から演算装置 150 に読み込まれる。これら画像ファイルの撮像データは前述した所定の処理が施され、処理後の撮像データに基づいてモニタ 160 にペア画像が同時表示される。ステップ S 304 において、測量対象である物点  $P_i$  の各ペア画像  $G_j$  における像点  $P_{ij}$  が対応付けられる。ステップ S 306 において、ステップ S 304 において対応付けられた像点の 2 次元座標値が演算処理用メモリ 154 に記憶される。

【0094】ステップ S 308 において、画像ファイル中の撮像データと共に記録されたレンズポジション（シフト量、チルト量）と絞り値がシステムコントローラ 1



52に読み込まれ、同時にこれらの組み合わせにそれぞれ対応したディストーション係数 $D_2$ 、 $D_i$ 、 $D_e$ 、 $P_1$ 、 $P_2$ が演算処理用メモリ154から読み込まれる。ステップS310において実際の大きさにスケールリングするための基準尺のデータ、即ち実測辺長さ $L$ および各画像における辺長さが読み込まれる。この基準尺のデータは予め演算処理用メモリ154に格納されているものとする。以上で画像読み込み処理が終了する。

【0095】図23は物点座標演算処理（ステップS400）を詳細に示すフローチャートである。ステップS402において、第2の補正座標とペア画像 $G_j$ から得られた実測像点座標との誤差であるメリット関数 $\Phi$ （（7）式に示す）の値を最小にするパラメータが求められる。このとき求められるパラメータは、物点座標 $(x_i, y_i, z_i)$ 、カメラ位置 $(\Delta x_j, \Delta y_j, \Delta z_j)$ 、カメラ姿勢 $(\Delta \alpha_j, \Delta \beta_j, \Delta \gamma_j)$ である。

【0096】ステップS404において投影平面を用い\*

るか否かが判定される。投影平面を用いない場合は物点座標演算処理は終了する。投影平面を用いる場合は、ステップS406、ステップS408、ステップS410が実行された後、物点座標演算処理が終了する。

【0097】以上の処理により精密な物点位置が求められるが、さらに精度の向上を図るために、投影平面を用いた補正が施される。投影平面とは道路面、例えば物点 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$ を含んだ平面 $PS$ の疑似平面であり、4点 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$ の座標に最も適した平面である。

【0098】ステップS406において、（7）式により求められた物点 $P_i$ の3次元座標 $(x_i, y_i, z_i)$ に基づいて、以下に示す（8）式に示されるメリット関数 $\Phi_H$ を最小にする平面 $H$ の係数 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ が求められる。平面 $H$ は投影平面である。

【0099】

【数7】

$$\Phi_H = \sum_i w_i \frac{|ax_i + by_i + cz_i + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \dots (8)$$

$(x_i, y_i, z_i)$  : 物点 $i$ の3次元座標

$a, b, c, d$  : 平面 $H$ を規定する係数

$w_i$  : 重み係数

【0100】ステップS408において、画像座標系 $j$ における物点 $i$ を平面 $H$ 上に投影した座標 $(hx_{ij}, hy_{ij}, hz_{ij})$ が求められる。即ち、（9）式に示す条件の下で、メリット関数 $\Phi_{ij}$ （（10）式に示す）を0にする座標 $(hx_{ij}, hy_{ij}, hz_{ij})$ が求められる。メリット関数 $\Phi_{ij}$ は、座標 $(hx_{ij}, hy_{ij}, hz_{ij})$ に基づいて得られた第2の補正座標 $(HX''_{ij}, HY''_{ij}, HZ''_{ij})$ と、実測像点座標 $(NX_{ij}, NY_{ij})$ または $(MX_{ij}, MY_{ij})$ との誤差を表す関数である。なお、座標 $(hx_{ij}, hy_{ij}, hz_{ij})$ から第2の補正座標 $(HX''_{ij}, HY''_{ij}, HZ''_{ij})$ に変換する手法は、図18に示す変換の手法と同じであり、ここでは説明を省略する。

※ $_{ij}$ ）と、実測像点座標 $(NX_{ij}, NY_{ij})$ または $(MX_{ij}, MY_{ij})$ との誤差を表す関数である。なお、座標 $(hx_{ij}, hy_{ij}, hz_{ij})$ から第2の補正座標 $(HX''_{ij}, HY''_{ij}, HZ''_{ij})$ に変換する手法は、図18に示す変換の手法と同じであり、ここでは説明を省略する。

【0101】

【数8】

$$a \cdot hx_{ij} + b \cdot hy_{ij} + c \cdot hz_{ij} + d = 0 \dots (9)$$

$a, b, c, d$  : 平面 $H$ を規定する係数

$(hx_{ij}, hy_{ij}, hz_{ij})$  : 平面 $H$ 上の物点 $i$ の3次元座標

【0102】

【数9】

29  
CCDピッチ間隔をパラメータに加えない場合  
(銀塩カメラの場合)

$$\Phi_{ij} = (HX''_{ij} - NX_{ij})^2 + (HY''_{ij} - NY_{ij})^2$$

CCDピッチ間隔をパラメータに加える場合  
(デジタルカメラの場合)

$$\Phi_{ij} = (HX''_{ij}/P_x - MX_{ij})^2 + (HY''_{ij}/P_y - MY_{ij})^2$$

30

(10)

ただし、

$(HX''_{ij}, HY''_{ij})$  : 第2の補正座標

$(NX_{ij}, NY_{ij})$  : 写真上の像点座標 (実測像点座標)

$(MX_{ij}, MY_{ij})$  : 画像上の像点座標 (実測像点座標)

$(P_x, P_y)$  : CCDのピッチ間隔

【0103】ステップS410において、(11)式を用いて、ステップS408により得られた座標値 ( $h x_{ij}$ ,  $h y_{ij}$ ,  $h z_{ij}$ ) がそれぞれパラメータ  $j$  について平均され、この平均値 ( $h x_i$ ,  $h y_i$ ,  $h z_i$ ) が物\*

\* 点  $i$  の座標とされる。

【0104】

【数10】

$$\left. \begin{aligned} h x_i &= \sum_{j=1}^J h x_{ij} / J \\ h y_i &= \sum_{j=1}^J h y_{ij} / J \\ h z_i &= \sum_{j=1}^J h z_{ij} / J \end{aligned} \right\} \cdots (11)$$

$(h x_i, h y_i, h z_i)$  : 物点  $i$  の平均座標

$(h x_{ij}, h y_{ij}, h z_{ij})$  : 投影平面Hにおける物点  $i$  の3次元座標

$J$  : 画像枚数

【0105】このように投影平面を用いることにより、同一平面上にあるという拘束条件が加わり、さらに精密な物点の3次元座標が得られる。

【0106】このあと被写体の図面化が行われる。即ち、物点  $p_i$  の3次元座標である ( $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$ ) または ( $h x_i$ ,  $h y_i$ ,  $h z_i$ ) は、基準尺の長さに基づいて実際の大きさにスケールされる。その後、例えば公知のベクトル変換等を用いて図面化され、これ

により測量図が得られる。測量図はX-Z平面図でもよいし、また立体斜視図などでもよい。

【0107】次に上述のカメラ100および画像処理装置200を用いた写真測量方法について説明する。まず、操作者は図面化したい被写体、例えば事故車両などの近傍の路面に基準尺 (図示しない) を設置する。この基準尺は座標値を実際の大きさにスケールするとき

ればよく、例えば辺長さがLの正三角形の板材である。

【0108】次にカメラパラメータ測定処理の済んだカメラ、即ちカメラパラメータが既知のカメラ100を用いて撮影を行う。カメラ100にメモリカード30を挿入し、図16に示すように同一の被写体を異なる位置から撮影する。ペア画像撮影後、ペア画像 $G_1$ 、 $G_2$ に関する撮像データとレンズポジションデータとが記録されたメモリカード30をカメラ100から抜き取り、画像処理装置200に挿入して、画像処理に必要な種々の操作を行って被写体の測量図を得る。

【0109】このように、撮影時においてシフトあるいはチルトを用いて画像における遠景の被写体を大きく写し込み、レンズのシフト量とチルト量とを加味した補正を施すことにより、より精密な被写体の3次元座標値が得られひいては精密な測量図が得られる。また被写体の座標値を求めるための画像枚数を減らすことができ、撮影時間を短くできる。

【0110】

【発明の効果】本発明による写真測量方法によって、より精密な測量図が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による実施形態である写真測量方法において用いられる地上写真測量用カメラを示す外観図である。

【図2】図1に示す地上写真測量用カメラのレンズ台を90°回転させた時の外観図である。

【図3】図1に示す地上写真測量用カメラの、シフトによる撮影光学系とレンズ光軸との移動を示す模式図である。

【図4】図1に示す地上写真測量用カメラの、チルトによるレンズとレンズ光軸との移動を示す模式図である。

【図5】シフトしないカメラを用いてビルを撮影したときの撮像面及びレンズの位置関係と、撮像面におけるビルの画像を示す模式図である。

【図6】シフトしたカメラを用いてビルを撮影したときの撮像面及びレンズの位置関係と、撮像面におけるビルの画像を示す模式図である。

【図7】チルトによる効果を示す模式図である。

【図8】図1に示す地上写真測量用カメラの主要構成を示すブロック図である。

【図9】メモリカードに記録される記録用データのフォーマットを示す図である。

【図10】図1に示す地上写真測量用カメラにおけるペア画像撮影処理を示すフローチャートである。

【図11】あおりを行わない撮影における被写体とレン

ズと撮像面との位置関係を示す図である。

【図12】図11に示すレンズ位置における撮影により得られた画像である。

【図13】あおり撮影における被写体とレンズと撮像面との位置関係を示す図である。

【図14】図13に示すレンズ位置における撮影により得られた画像である。

【図15】画像処理装置の構成を示すブロック図である。

10 【図16】撮影時におけるカメラと物点 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$ との位置関係を模式的に示す斜視図である。

【図17】図16に示す撮影におけるスクリーン $S_1$ 、 $S_2$ と物点 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$ との位置関係を幾何学的に示す図である。

【図18】3次元座標から2次元座標への座標変換の流れを示す図である。

【図19】図15に示す画像処理装置における動作を示すフローチャートである。

20 【図20】図19に示すカメラパラメータ測定処理を示すフローチャートである。

【図21】図20に示すカメラパラメータ測定処理における基準被写体とカメラとの位置関係を模式的に示す図である。

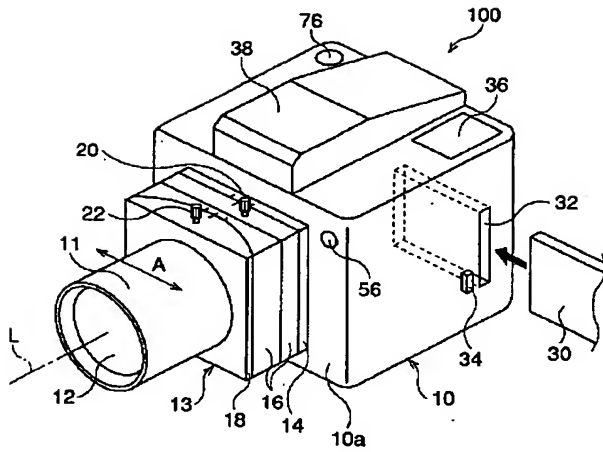
【図22】図19に示す画像読込処理を示すフローチャートである。

【図23】図19に示す物点座標算出処理を示すフローチャートである。

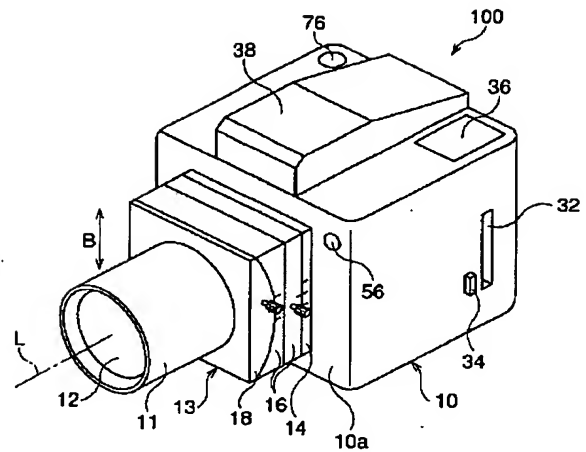
【符号の説明】

- 10 本体
- 11 鏡筒
- 12 撮影光学系
- 13 レンズ台
- 14 第1の台座
- 16 第2の台座
- 18 鏡筒保持部材
- 20 シフト操作部材
- 21 CCD
- 22 チルト操作部材
- 30 メモリカード
- 36 表示装置
- 56 測光センサ
- 100 カメラ
- 150 演算装置
- 200 画像処理装置

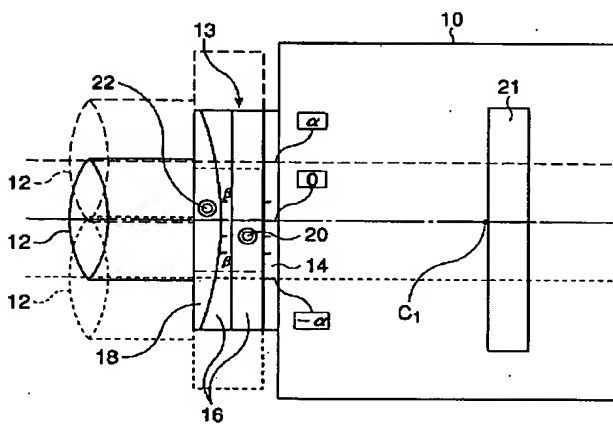
【図1】



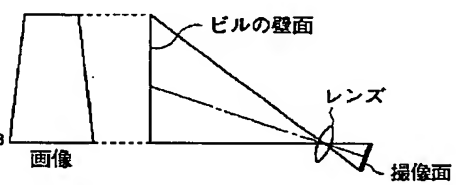
【図2】



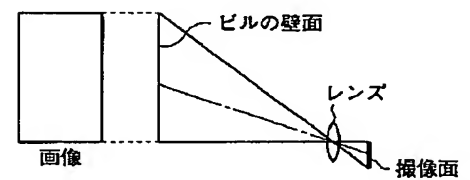
【図3】



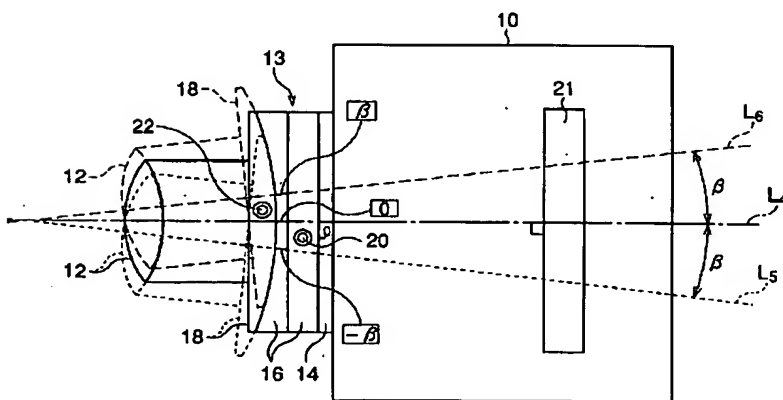
【図5】



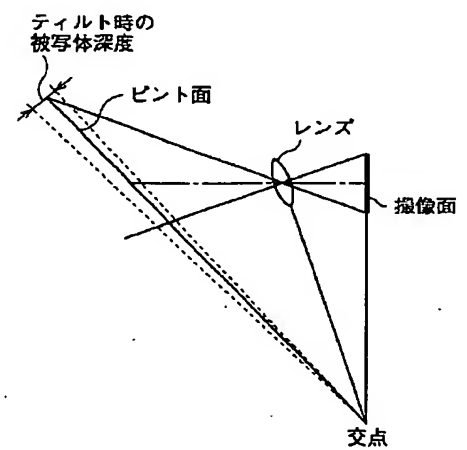
【図6】



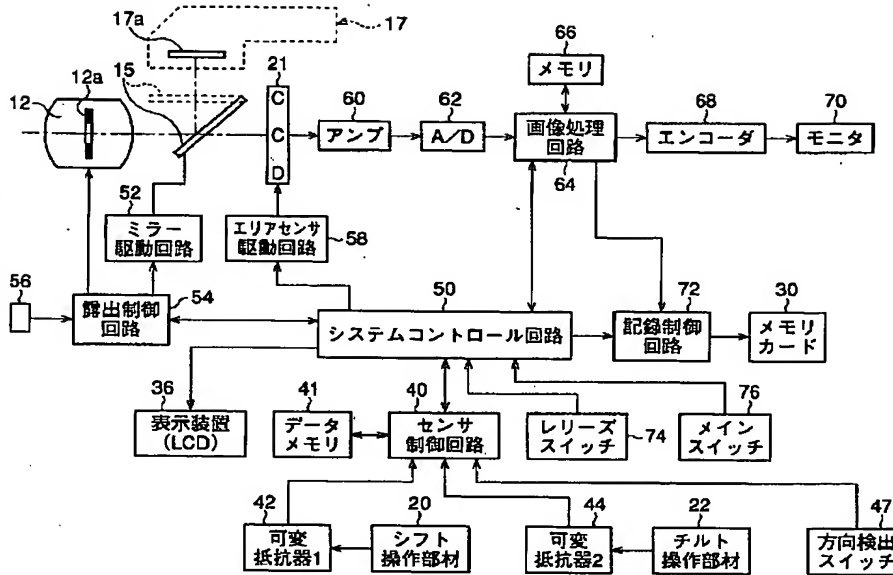
【図4】



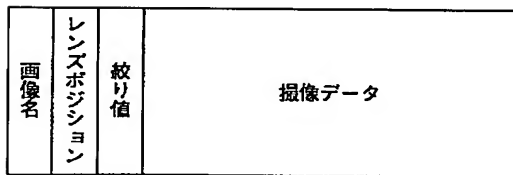
【図7】



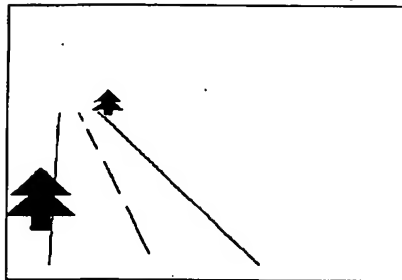
【図8】



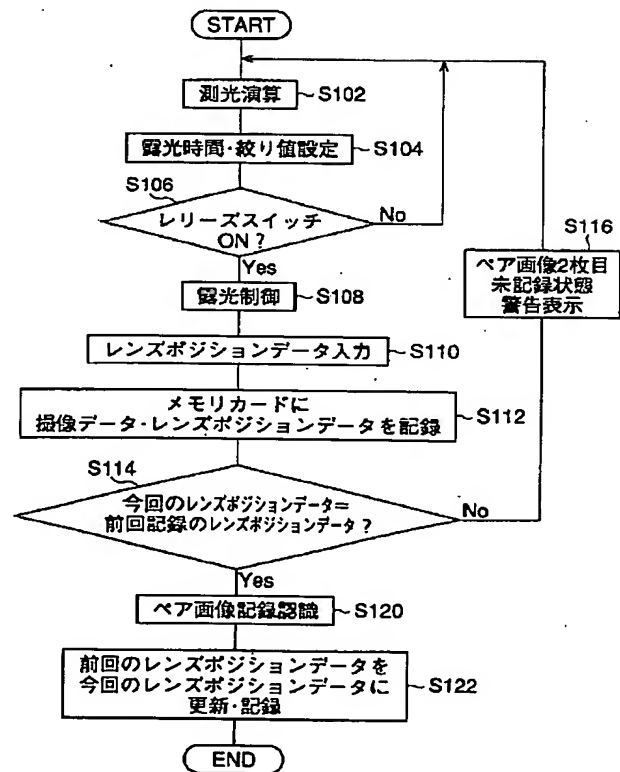
【図9】



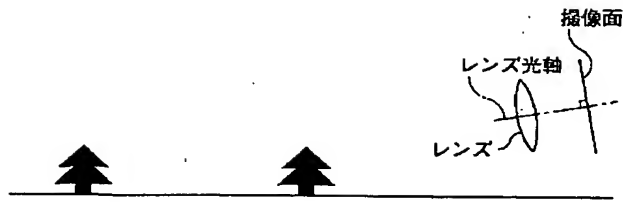
【図12】



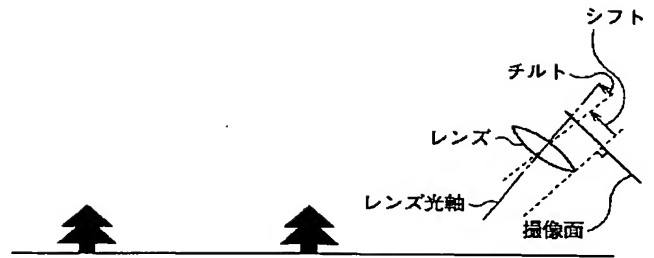
【図10】



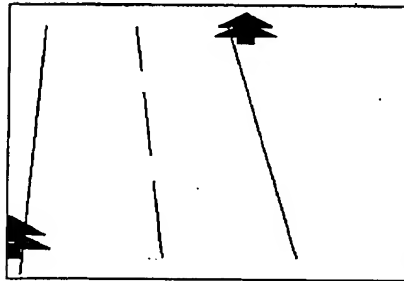
【図11】



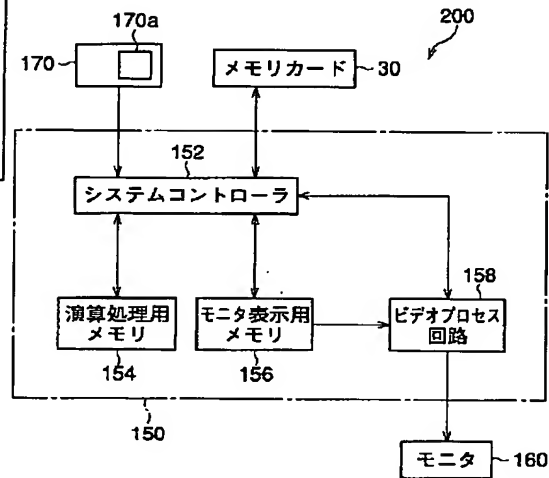
【図13】



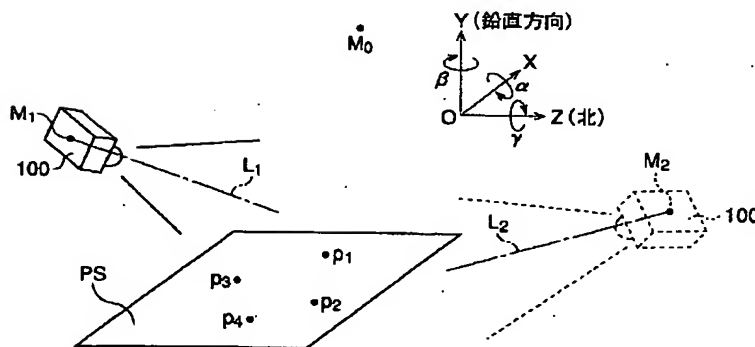
【図14】



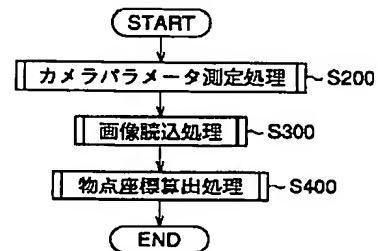
【図15】



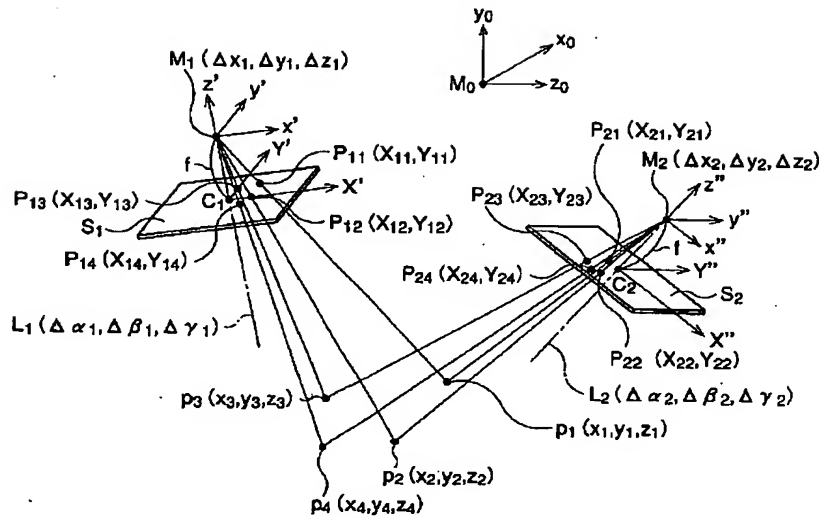
【図16】



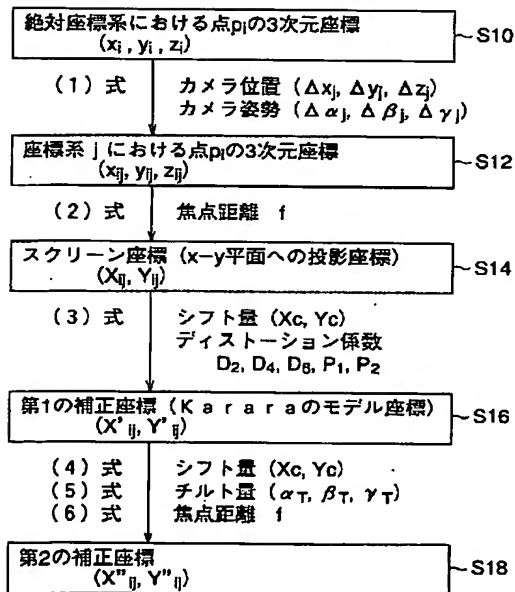
【図19】



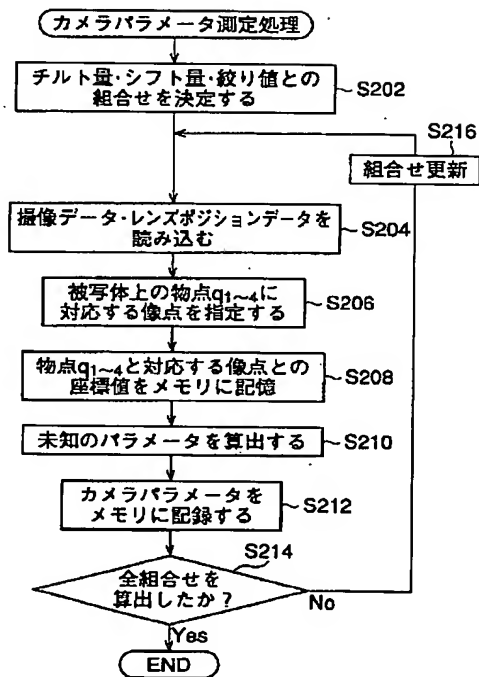
【図17】



【図18】

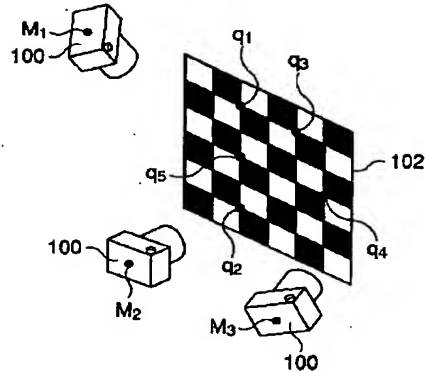


【図20】

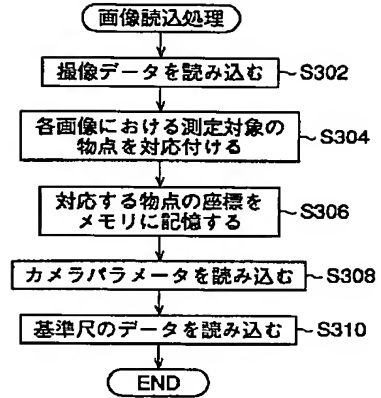




【図21】



【図22】



【図23】

